Die
Sehorgane der Seesterne.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

hohen naturwissenschaftlichen Facultät

der

Universität Tübingen

vorgelegt von

Wilhelm Pfeffer
aus Metzingen.

Mit 1 Tafel.

Jena,
Gustav Fischer.
1901.

Die
Sehorgane der Seesterne.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

hohen naturwissenschaftlichen Facultät

der

Universität Tübingen

vorgelegt von

Wilhelm Pfeffer
aus Metzingen.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Mit 1 Tafel.

Jena,
Gustav Fischer.
1901.

Von der Facultät angenommen am 8. Mai 1900.

Abdruck
aus den
Zoologischen Jahrbüchern,
Abtheilung für Anatomie und Ontogenie der Thiere.
Herausgegeben von Prof. Dr. J. W. Spengel in Giessen.
Vierzehnter Band, 4. Heft, 1901.
Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Die Sehorgane der Seesterne wurden schon am Anfang des 19. Jahrhunderts entdeckt und als solche erkannt. Sie machen sich bei einigermaassen genauer Betrachtung der meisten lebenden Seesterne vermöge ihrer lebhaften rothen Färbung leicht bemerklich. Genauere Untersuchungen über den feinern Bau und die Function dieser Organe sind jedoch jüngern Datums; sie folgten der Vervollkommnung der optischen Apparate und der mikroskopischen Technik. Dass im Laufe dieser Untersuchungen, die sich auf ca. 3 Jahrzehnte ausdehnen, eine Reihe von Meinungsverschiedenheiten entstanden, lässt sich leicht denken, und so bot sich für erneute histologische Untersuchungen ein günstiges Arbeitsfeld dar.

Von meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. Blochmann auf dieses Gebiet aufmerksam gemacht, beschäftigte ich mich mit der Untersuchung der Sehorgane einiger Seesternarten; im Folgenden werde ich die Ergebnisse derselben darlegen.

Die Arbeit wurde im Zoologischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

Herrn Prof. Dr. Blochmann möchte ich an dieser Stelle für das grosse Wohlwollen, das er den Untersuchungen entgegengebracht, sowie für die Rathschläge, mit denen er mir an die Hand ging, meinen innigsten Dank aussprechen.

Zugleich sei es mir gestattet, Herrn Privatdocent Dr. Hesse meinen herzlichen Dank zu sagen, für das Interesse, das er für meine Arbeit gezeigt hat.

Das Material, welches mir bei meinen Untersuchungen zur Verfügung stand, verdanke ich zum grossen Theil Herrn Prof. Dr. Blochmann, der es an der norwegischen Küste gesammelt und in Sublimat conservirt hatte. Es sind die folgenden Arten:

Asterias glacialis Müll.
Asterias rubens L.
Asterias mülleri Sars
Echinaster sepositus M. T.
Astrogonium granulare R.
Astropecten aurantiacus L.
Astropecten mülleri
Astropsis pulvillus
Pteraster militaris M. T.
Solaster papposus M. T.

Herr Dr. Hesse conservirte in Neapel die Armspitzen von:

Asterias glacialis Müll.
Echinaster sepositus M. T.
Astropecten aurantiacus L.

In Rovigno, wo ich zwecks weiterer Untersuchungen während eines Monats weilte, conservirte ich selbst noch:

Asterias tenuispina Lam.
Astropecten bispinosus Otto
Astropecten pentacanthus M. T.
Asterina gibbosa Forb.
Palmipes membranaceus Ag.

theils in Sublimat, theils in Sublimat-Essigsäure.

Aus Neapel endlich erhielt ich *Luidia ciliaris* Gr. in Sublimat-Essigsäure fixirt, sowie *Asterias glacialis* in starker Flemming'scher Lösung.

Die Entkalkung der Armspitzen wurde mit $^1/_2$-proc. Salzsäure vorgenommen. Nach derselben konnte in Paraffin eingebettet werden, worauf sich mit Leichtigkeit Schnittserien erhalten liessen.

Die Dicke der Schnitte betrug 3 und 5 μ, letztere genügte aber vollständig für alle Untersuchungen.

Die Färbung mit Eisenammoniakalaun-Hämatoxylin-Bordeaux R (Heidenhain) lieferte die besten Resultate; einige andere Färbemethoden, die ich noch zur Anwendung brachte, gaben mir über gewisse Punkte weitere Aufklärung.

Die Zeichnungen sind mit dem Abbe'schen Zeichenapparat angelegt und dann weiter ausgeführt worden. Fig. 1 und 2 verdanke ich Herrn Dr. Hesse, der sie in Neapel anfertigte.

Bevor ich auf meine eigenen Untersuchungen eingehe, will ich eine Uebersicht der sich mit diesem Gegenstand beschäftigenden Arbeiten geben.

Durch seine lebhafte Färbung fiel das Augenpolster der Seesterne schon ältern Beobachtern auf. Vahl bildet dasselbe 1780 in

O. F. Müller's Zoologica danica von *Pteraster militaris* ab, er erwähnt aber nichts, dass er es für das Sehorgan der Seesterne halte.

Ehrenberg (1834) schreibt: „An allen Spitzen der 5 Arme beim lebenden *Asterias rubens* sah ich auf der Bauchseite einen schön rothen, scharf umschriebenen Punkt, und die Art, wie die lebenden Thiere diese Spitze beim Kriechen zurückgebogen tragen, liess mich sogleich kaum zweifeln, dass ich nicht wahre Augen aufgefunden hätte." Eine genauere Beschreibung fehlt jedoch; er giebt nur an, dass das Auge auf einer kleinen Verdickung des Nerven, also unmittelbar auf dem Ganglion sitze.

Wenige Jahre später giebt Volkmann (1837) eine Notiz über die von Ehrenberg entdeckten Augen an der Hand von Abbildungen. Der Augenpunkt, wie er ihn nennt, besteht danach aus zarten Längsfasern und besitzt einzelne Flecken, die durch rothes Pigment hervorgebracht werden.

Nach Volkmann hat es Haeckel (1860) unternommen, in die Histologie des Augenflecks weiter einzudringen. Er bestätigte das Ergebniss der Forschungen Volkmann's, wonach der Augenfleck aus Einzelaugen besteht. Er sah das Seesternauge an als „zusammengesetztes Auge, wie das der Gliederthiere". Nach seinen Darstellungen erscheint jedes Auge als ein rother Pigmentkegel, in dessen unmittelbar unter der Cuticula liegender Basis eine kuglige, glashelle, structurlose Linse eingebettet ist. Histologisch unterscheidet er am Augenpolster eine innere, homogene Schicht, die ganglienartige Anschwellung des Nervus opticus, und eine äussere Schicht, bestehend aus Bindegewebe, in der die Einzelaugen sitzen. Haeckel redet weiter noch von einem Irisring, welcher durch die umgebenden Zellen gebildet werden soll. Seine Untersuchungen beziehen sich auf die 3 Arten: *Astropecten aurantiacus*, *Asterias glacialis* und *Asterina gibbosa*.

Wilson (1860) schliesst sich den Ansichten von Haeckel an, auf Grund von Untersuchungen, die er an *Crossaster papposus*, *Cribrella oculata* und *Asterias glacialis* anstellte. Er macht auch Angaben über die Reactionen, welche das Pigment der Retinazellen bei Behandlung mit Salpetersäure giebt.

Gegen die Ansicht Haeckel's und Wilson's, als ob in dem Einzelauge eine kuglige Linse vorhanden sei, wandte sich bald Mettenheimer (1860), der eine Abhandlung über den violetten Seestern schrieb. Er giebt darin an, dass, wenn man die einzelnen Theile des Pigments aus einander presst, ungefärbte Stellen zum Vorschein kommen. Dieser helle Kern der Pigmentflecke bestehe aus runden,

klaren Zellen und Myelintropfen. Weiter giebt er an, dass man ohne Schwierigkeit feine Fasern aus der Tiefe aufsteigen sehe, die sich, je näher dem Pigmentkegel, desto mehr mit Farbstoff belegen und sich zuletzt in den Fleck einsenken. Diese Fasern erklärt er als die Elemente des Sehnerven.

Jourdain (1865) beschäftigt sich besonders mit dem physiologischen Werth des Seesternauges. Wichtig ist, dass er von einem lichtbrechenden Körper redet. Bei 300facher Vergrösserung sieht man die Einsenkungen in der Form eines Fingerhuts mit einem gelatinösen Stoff erfüllt, der über die Oberfläche der Augenpapille leicht vorspringt und mit einer convexen Partie abschliesst, ähnlich der Cornea höherer Thiere.

Greeff und Hoffmann (1872) geben ihre Befunde über die histologische Beschaffenheit des Augenpolsters folgendermaassen an: Auf eine glashelle Cuticula folgt ein Plattenepithel. Darunter liegt eine Parenchymschicht, in der die Sehorgane eingebettet liegen. Die Pigmentkegel, welche die Sehorgane ausmachen, sind von einer glashellen, gallertigen Substanz erfüllt, welche bei Druck nach aussen hervorquillt und die von Haeckel als kuglige Linse angesehen wurde. Die Zellen, welche den Pigmentkegel begrenzen, sind von feinkörnigem Pigment erfüllt; der proximale Theil dieser Zellen zieht sich in einen Fortsatz aus, der als Nervenfaser angesehen werden muss. Bei Behandlung mit Osmiumsäure erscheint nach Hoffmamn die glashelle Substanz in den Kegeln nicht mehr homogen, sondern aus kleinen kernhaltigen Körperchen zusammengesetzt, die schichtenweise über einander liegen. Beide geben noch an, dass das Augenparenchym sehr reich sei an Nervenelementen, ja dass es zum grossen Theil daraus bestehe.

Lange (1876) leugnet das bis dahin beschriebene Plattenepithel. Er erkennt weiter richtig, dass in dem Augenpolster sich ausserordentlich lang gestreckte Zellen finden, deren äusserer protoplasmatischer Theil sich besonders färbe. Diese lang gestreckten Zellen sollen nach seiner Angabe innen in ein gegabeltes Stäbchen endigen, aussen mit ihren Köpfchen an die Cuticula stossen. Weiter schreibt er jedoch: „Es ist nicht ausgeschlossen, dass Nervenelemente zwischen und an diese Zellen herantreten, sondern wahrscheinlich, da das Integument auf einer Ganglienmasse ruht und Sinnesorganen zum Bette dient. Auf den Zellen, welche den Pigmenttrichter einsäumen, beschreibt Lange einen hellen, stark lichtbrechenden Körper in Gestalt eines kleinen Stabes. Er bezeichnet ferner das Auge des Seesterns als ein rein

epitheliales Gebilde, als eine kegelförmige Einstülpung der Haut. Die Höhle der Pigmentkegel wird nicht durch die Cuticula geschlossen, sondern durch ein unter dieser befindliches Gebilde, bestehend aus langen Stabzellen, welche an ihrem Kopf durchsichtige, plattenartige Fortsätze tragen. Die Fortsätze schieben sich wahrscheinlich von allen Seiten zwischen Cuticula und Basis des Hohlkegels, welchen sie dergestalt schliessen.

Teuscher (1876) unterscheidet an dem Augenpolster 3 Schichten:

1) eine Bindegewebsschicht,
2) eine eigentliche Nervenschicht und
3) eine Hautschicht.

Seine Darstellungen bezüglich der Stützzellen stimmen mit denen Lange's fast überein. Er lässt dieselben von der Bindegewebsschicht bis zur Cuticula reichen. Auf Längsschnitten durch das Augenpolster sieht er Längsfaserlagen deutlich hervortreten. Sie bilden Bündel, die aus unendlich feinen Fasern zusammengesetzt sind. Sie machen für Teuscher einen wesentlichen Theil des Nervenstrangs aus. Nach aussen zu sieht er eine Lage von ovalen, blassen Zellen mit deutlichen Kernen, die er mit Hoffmann für Ganglienzellen hält; einen Zusammenhang mit den Fasern zu constatiren, gelang ihm jedoch nicht. Weiter findet er noch Querfasern, die den Stützzellen entsprechen, feine Fasern, die er als Hautzellen beschreibt.

Hamann (1883) führt uns in der Erkenntniss der Histologie des Augenpolsters einen Schritt weiter. Er geht aus von der histologischen Beschaffenheit des Fühlers. Dort reichen die Stützzellen von der Cuticula bis zur Bindegewebsschicht. Viele der am distalen Ende des Fühlers befindlichen Epithelzellen setzen sich in feine Fibrillen fort, welche die Nervenfaserschicht bilden helfen; er nennt sie Epithelsinneszellen. Ueber den Hohlraum des kegelförmigen Einzelauges setzt sich die Cuticula fort. Jede der Pigmentzellen, welche die Wand des Augenkegels bilden, verlängert sich in eine Fibrille, welche alle Eigenschaften von Nervenfibrillen hat, letztere verlaufen in der Nervenschicht. Dazwischen finden sich Stützzellen, deren Ausläufer die Nervenschicht durchsetzen und auf der Bindegewebsschicht inseriren.

Als drittes Element im Augenpolster treten pigmentlose Epithelsinneszellen auf, deren proximales Ende nach Analogie mit denen des Fühlers sich in der Nervenschicht verliert. Die Cuticula, welche die Basis des Hohlkegels bildet, ist nach seiner Ansicht als Cornea zu deuten. Seine Untersuchungen erstrecken sich auf die beiden Arten *Asterias rubens* und *Solaster papposus*.

Cuénot (1888), der hauptsächlich *Asterias glacialis* und *Luidia ciliaris* untersuchte, stimmt mit Hamann und den vorhergehenden Autoren in mehreren Punkten nicht überein. Er schreibt: „On voit que les godets pigmentaires sont légèrement creux, et ne renferment aucune lentille ni conformation réfractante quelconque. La cuticule qui revêt le cordon nerveux radial, descend jusque dans les godets oculaires qu'elle revêt complètement. Le pigment formé de granulations d'un rouge vif occupe la partie supérieure et élargie de la cellule. Le reste de la cellule se réduit à un filament extrêmement fin et délicat plus ou moins long, suivant la place où on l'observe, qui se termine par une extrémité un peu renflée sur le tissu conjonctif sousjacent. La cellule porte à sa surface la couche cuticulaire, qui la protège; ces plateaux ont souvent une apparence bizarre, ils semblent fichés obliquement sur les cellules.“ Beim Zerzupfen will sie Cuénot in vollkommenem Zusammenhang mit der Cuticula der sie umgebenden, nicht pigmentirten Zellen gesehen haben. Zwischen den Augengruben sitzen gewöhnliche Faserzellen, die weniger zart sind als die Sehzellen. Die Nervenschicht soll nicht mehr Ganglienzellen enthalten als der übrige Radialstrang, auch soll sie nicht so dicht sein als in diesem. Die Fibrillen der Nervenschicht bilden eine Masse von granulirter Substanz, sie verlaufen nicht parallel, sondern anastomosiren beständig, so dass sie einen grob fibrillären Plexus bilden.

Vogt u. Yung (1888) lassen die Cuticula in Uebereinstimmung mit den meisten Forschern über die Augenkegel geschlossen wegziehen. Die conische Höhlung ist nach ihnen mit gelatinöser Flüssigkeit erfüllt, welche durch Reagentien gerinnt. Die Wände der Höhle sind mit radienförmig gestellten Zellen ausgekleidet, deren gegen die Höhle gerichtetes Ende allein durchsichtig ist und eine sehr feine, steife Borste trägt, die in die Flüssigkeit eintaucht.

Weiter beschäftigte sich Watase (1890) mit dem Studium der Seesternaugen. Er vergleicht das Sehorgan mit dem zusammengesetzten Auge der Arthropoden. Danach bilden die cuticularen Secretionen der Retinazellen zusammen mit der farblosen flüssigen Substanz einen durchsichtigen Körper im Centrum jeder Augengrube oder Ommatidiums. Die dünne, äussere cuticulare Bedeckung des Auges entspricht der Cornea und die cuticulare Abscheidung an dem distalen Ende der Retinazellen, welche die Wände des Augenflecks bilden, entspricht dem Krystallkegel und dem Rhabdom der zusammengesetzten Augen der Arthropoden. Er sagt zum Schluss: „Im Ganzen ist die

morphologische Anordnung der Theile des zusammengesetzten Auges der Seesterne schlagend ähnlich denen eines Arthropodenauges."

Lang (1894) bildet in seinem Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Thiere die Augen der Seesterne ab, ganz ähnlich wie Cuénot, indem er die Cuticula nicht über den Augenkegel wegziehen, sondern ihn auskleiden lässt.

Ludwig (1894) giebt in Bronn's Classen und Ordnungen des Thierreichs eine Zusammenfassung und Kritik der bis jetzt diesen Gegenstand behandelnden Arbeiten.

Durch diesen Ueberblick über die bisher erschienene Literatur tritt die Thatsache klar vor Augen, dass die Autoren in vielen Fragen keineswegs übereinstimmen, dass also weitere Forschungen zur Entscheidung der fraglichen Punkte nöthig sind.

Die Punkte, über welche die Meinungen aus einander gehen, sind kurz folgende:

Cuénot und Lang behaupten, dass die Cuticula nicht über die Augengruben wegziehe, sondern sich in dieselben einsenke und sie auskleide, während sämmtliche andere Forscher die Cuticula über die Augengrube wegstreichen lassen. Da aus meinen Untersuchungen hervorgeht, dass die Cuticula sich nicht in die Augengrube einsenkt, so entsteht die Frage: wie wird die Cuticula, welche die Oeffnung des Einzelauges verschliesst, gebildet? Weiter bedarf das Verhalten der Sehzellen und des ihm aufsitzenden Stäbchens der Aufklärung. Hat es ferner mit den Epithelsinneszellen Hamann's seine Richtigkeit?

Im Folgenden gehe ich zu meinen eigenen Untersuchungen über.

Es mag zweckmässig sein, zuerst eine genaue Schilderung der Lage und Histologie des Augenpolsters zu geben, hieran möge sich anschliessen die Beschreibung der drei Hauptgruppen von Sehorganen, welche sich bei der Untersuchung der verschiedenen Seesternarten ergaben; weiter werde ich auf die Verhältnisse des Pigments, sowie auf die angestellten physiologischen Versuche eingehen und zum Schluss endlich noch einige allgemeine Betrachtungen anknüpfen.

Der Radialnerv durchzieht den Arm des Seesterns bis nahe der Spitze, wo er stark anschwillt und so den lichtempfindenden Organen zum Bette dient. Ein in Bewegung befindlicher Seestern trägt die Spitze des Arms nach der Rückenfläche zu emporgehoben, während dies gewöhnlich nicht der Fall ist. Der Fühler, welcher das blinde Ende des in jedem Arm verlaufenden Wassergefässcanals darstellt, wird in dieser Stellung prall mit Wasser gefüllt und verlängert sich

so, dass er die zu seinem Schutz über ihn und das Augenpolster gewölbte Terminalplatte überragt und als Tastorgan functionirt.

Für die lichtempfindenden Organe, welche an der Basis des Fühlers liegen, ist diese Stellung der Armspitze bei der Bewegung von grosser Wichtigkeit, weil in dieser Lage das Licht, welches aus der Bewegungsrichtung kommt, am besten auf dieselben einwirken kann. Wie oben bemerkt, war es eben die Stellung des Augenpolsters bei der Bewegung, welche Ehrenberg veranlasste, in diesem Theil des Radialnerven ein Sehorgan zu erblicken. Zur genauen Orientirung über die Lage des Augenpolsters dient ein Schnitt, der durch die Armspitze parallel der Medianlinie des Strahls gelegt ist, also ein Radialschnitt, wie ihn Fig. 3 zeigt. Man sieht, wie sich das Epithel des Radialnerven auch auf das Augenpolster fortsetzt, nur dass seine Elemente grösser werden; ferner dass es an der Oberfläche des Fühlers seine Endausbreitung besitzt. Der letztere ist in Fig. 3 stark contrahirt, so dass er von der terminalen Kalkplatte ganz überragt wird. Auf dem Augenpolster, das sich an den Fühler anschliesst, kann man in der Abbildung eine Anzahl von Längsschnitten durch Augenkegel bemerken.

Diese beiden wichtigen Organe, Fühler und Augenpolster, bedürfen eines wirksamen Schutzes bei ihrer ausgesetzten Lage an der Spitze der Arme. Als die wirksamsten Schutzorgane sind Stacheln und Dornen zu bezeichnen, welche den Adambulacralplatten, sowie der Terminalplatte aufsitzen. Bei contrahirter Ambulacralrinne überdecken dieselben schützend den Fühler, sowie das Augenpolster, während sie bei der Bewegung denselben aufrecht zur Seite stehen.

In zweiter Linie kommen auch die am weitesten distalwärts gelegenen Ambulacralfüsschen in Betracht. Diese zeichnen sich bekanntlich auch bei den Arten, deren Füsschen im Allgemeinen eine Saugscheibe besitzen, dadurch aus, dass ihnen eine solche fehlt und dass sie conisch zugespitzt erscheinen. Diese von Hamann als Tastorgane bezeichneten Füsschen können sich ebenfalls über Fühler und Augenbulbus legen und so als Schutzorgane dienen.

Bevor ich auf die Beschreibung der Elemente des Augenpolsters eingehe, will ich die einfachen Verhältnisse, wie sie sich beim Radialnerven darbieten, vorausschicken. Am besten orientirt man sich an einem Querschnitt durch einen der Arme. Das Querschnittsbild des Radialnerven ist V förmig. Das Epithel desselben besteht aus langen Zellen, welche den Raum zwischen Bindegewebsschicht und Cuticula durchsetzen, wobei sie auf der Basalmembran senkrecht stehen. Diese

lang gestreckten, palissadenförmigen Zellen sind in der Literatur mit dem Namen Stützzellen bezeichnet worden. In ihrem peripheren Theil enthält jede dieser Epithelzellen einen länglichen, mit deutlichen Kernkörperchen versehenen Kern. Das innere Ende dieser Zellen verdünnt sich zu einem fadenförmigen Fortsatz, welcher sich an seiner Ansatzstelle auf der Basalmembran oft etwas zu einer Basalplatte verbreitert. Der Theil der Stützzelle, welcher der Cuticula anliegt, verbreitert sich stark, wie die Figg. 4 und 5 deutlich zeigen. Jede Stützzelle enthält in ihrem Innern eine dicke Faser, die man dank ihrer starken Färbung durch die ganze Zelle verfolgen kann.

Betrachtet man einen Tangentialschnitt des Radialnerven, so erhält man ein Bild, wie es in Fig. 12 bei * dargestellt ist, nämlich eine Reihe von Polygonen, welche in der Mitte einen dunklern Punkt enthalten, die Querschnitte der eigentlichen Stützfasern. Das diese Fasern umgebende Protoplasma färbt sich sehr schwach.

Der Radialnerv wird von einer festen, glashellen Cuticula überkleidet, die nach Cuénot aus einzelnen Stückchen besteht. Ueber diese ragen kurze, nicht lebhaft schwingende Wimpern empor. Die Dicke der Cuticula schwankt bei den einzelnen Arten sehr, am dicksten fand ich sie bei *Astropecten aurantiacus*.

In den bisherigen Arbeiten wird die Cuticula als homogen geschildert. Bei genauer Betrachtung aber fand ich, dass sie aus 2 Schichten zusammengesetzt ist, einer äussern, homogenen, glashellen und einer innern, welche eine senkrechte Streifung aufweist. Von dem verbreiterten, peripheren Ende der Stützzellen steigen nämlich feine Protoplasmafortsätze nach dem homogenen Theil der Cuticula empor, von dem diese innere Schicht durch eine feine Linie abgegrenzt ist. Auf der andern Seite zeigt diese innere Schicht wiederum eine feine Grenzlinie, welche durch die verbreiterten und zusammengetretenen Enden der Stützzellen entsteht. Diese Schicht, welche also die innere Begrenzung der Cuticula darstellt, wird uns noch weiter beschäftigen.

Hamann fand zwischen den Stützzellen noch andere, zarte, spindelförmige Zellen, deren innerer Fortsatz sich dadurch auszeichnet, dass er die Faserschicht nicht durchsetzt, sondern sich in der Nervenschicht verliert. Die Kerne sind von denen der Stützzellen dadurch unterschieden, dass sie rund sind, wenig Chromatin enthalten und damit ein helleres Aussehen haben, ferner dass sie grösser sind als jene.

Cuénot stellt deren Existenz entschieden in Abrede, ich kann

jedoch in Uebereinstimmung mit Hamann die Epithelsinneszellen, wie er sie nennt, bestätigen.

Die Faser- oder Nervenschicht, die ich erwähnte, durchzieht den Radialnerven in seiner ganzen Länge. Querschnitte durch denselben zeigen die Faserschicht als sehr feine Pünktchen. Auf gut getroffenen Längsschnitten dagegen erblickt man eine Menge parallel laufender Fasern. Cuénot giebt an, dass diese Fasern oder Fibrillen anastomosiren; allerdings rufen schiefe Längsschnitte und auch Querschnitte diesen Eindruck hervor, bei gut getroffenen Längsschnitten fand ich aber keine Anastomosen. In dieser Schicht, die ihren Elementen nach als Nervenfaserschicht bezeichnet wird, finden sich bei starker Vergrösserung sehr kleine Zellen mit rundem oder ovalem Kern und wenig Protoplasma.

Ludwig bezeichnet sie als bipolare Ganglienzellen, am reichlichsten fand ich sie bei *Astropecten mülleri*. Grosse Ganglienzellen mit Kernen fand Hamann im Fühler. Fig. 18 giebt eine Abbildung von solchen.

Das Augenpolster, welches ja nur einen Theil des Radialnerven bildet, enthält genau dieselben Elemente, nur mit dem Unterschied, dass die Dimensionen derselben viel grösser sind. Die Stützzellen steigen auch hier von der Bindegewebsschicht senkrecht zur Cuticula empor. Eine Ausnahme ergiebt sich dann, wenn tiefere Augenkegel vorhanden sind. Die Stützzellen setzen in diesen Fällen wohl gleichmässig auf der Bindegewebsschicht an, werden aber durch den eingedrungenen Augenkegel aus einander gebogen, so dass sie denselben wie eine Glocke überdecken. Fig. 17 zeigt diese Verhältnisse. Dieses Verhalten deutet darauf hin, dass die Stützzellen ursprünglich senkrecht aufstiegen, dass sie aber durch die sich immer mehr vertiefenden Augenkegel aus ihrer ursprünglichen Lage verdrängt wurden; also stehen auch an der Stelle, wo die Augenkegel liegen, mit der Cuticula Zellen in Zusammenhang.

Diesen kommt die wichtige Function der Bildung der Cuticula zu, welche, ohne direct von Zellen unterlagert zu sein, die Oeffnung des Augenkegels nach aussen verschliesst, ferner die Bildung der Linse, welche bei einer Reihe von Seesternarten diesem Theil der Cuticula nach innen zu anliegt.

Die Epithelsinneszellen kommen bei den meisten Arten im Augenpolster nicht gerade reichlich vor, bei andern, wie z. B. bei *Asterias tenuispina*, sind sie in grosser Zahl vorhanden.

Die wichtigsten Elemente des Augenpolsters sind jedoch die Retinazellen oder Sehzellen, welche das Pigment enthalten, durch

dessen Vorhandensein das Augenpolster seine schön rothe Farbe erhält. Diese Retinazellen sind bei den verschiedenen Arten in besonderer Weise angeordnet. Wie aus der oben angeführten Literatur hervorgeht, sprechen alle Autoren von Einzelaugen oder Augenkegeln, welche bei Lupenvergrösserung als rothe Flecke auf dem Augenpolster hervortreten. Diese Beobachtung stimmt auch bei den meisten der von mir untersuchten Arten. Eine Ausnahme bilden jedoch 2 Arten: *Astropecten pentacanthus* und *Astropecten mülleri.* Bei diesen ist das Augenpolster gleichmässig tingirt, nur erscheinen hin und wieder einzelne dunkler gefärbte Flecken, welche Anhäufungen von Retinazellen vorstellen; von Wichtigkeit ist aber die Thatsache, dass bei den beiden letzten Arten auch zwischen den Flecken pigmentirte Retinazellen vorkommen, während dies bei den übrigen Arten nicht der Fall ist. Die Augenkegel oder Augengruben kommen so zu Stande, dass sich die Retinazellen in bestimmter Weise in das Augenpolster einsenken und damit auf gewisse Stellen concentrirt werden. Ich werde im Folgenden für diese Gebilde den Ausdruck Augengruben gebrauchen; um jedoch Missverständnisse zu vermeiden, betone ich, dass sich die Grubenform der Einstülpungen nur auf die Sehzellen, nicht aber auf die Cuticula bezieht, welch letztere vielmehr über die Grube glatt ausgespannt ist.

Die Form der Retinazellen ist sehr verschieden, was sich leicht aus der Thatsache erklärt, dass die einen sich in der Nähe der Oeffnung der Augengrube, andere in der Mitte und wieder andere sich an dem am tiefsten eingesenkten Theil derselben anlegen.

An jeder Retinazelle kann man 3 Theile unterscheiden: 1) den Zellleib, 2) den fadenförmigen proximalen Theil und 3) ein dem Zellleib aufsitzendes Gebilde, das sogenannte Stäbchen.

Der Zellleib enthält den Kern, welcher von den Kernen der Stützzellen durch seine Form unterschieden werden kann. Er hat einen runden Umriss, auch ist er heller, was davon herrührt, dass er wenig Chromatin enthält. Gewöhnlich liegt der Kern in dem Theil der Zelle, an dem der fadenförmige Fortsatz ansetzt. In der Nähe der Spitze des Augenkegels oder der Augengrube liegen die Kerne in 2—3 Schichten, da sie nicht alle neben einander Platz haben. Die Augengrube ist wie von einem Mantel von Zellkernen umgeben, was besonders deutlich hervortritt, wenn man einen Schnitt betrachtet, der der Wand der Augengrube parallel geht und diese Kernschicht trifft. Der Zellleib ist erfüllt von einer grossen Zahl sehr feiner Pigmenttröpfchen, welche perlschnurartig aufgereiht und sehr stark licht-

brechend sind. Auf die Eigenschaften dieses Pigments werde ich erst später eingehen.

An ihrem innern Ende setzt sich jede Retinazelle in eine äusserst feine Faser fort, welche in der Nervenschicht verschwindet. Nach Cuénot freilich sollen sich diese Fasern bis zur Basalmembran fortsetzen, was aber sicher nicht der Fall ist, da sich dieses Verhältniss an einem Längsschnitt durch eine Augengrube klar zeigen müsste. Diese Retinazellen, sowie die Epithelsinneszellen Hamann's sind echte Neuroepithelzellen.

Der dritte und wichtigste Theil der Retinazelle liegt an ihrem obern Ende; es ist das Stäbchen, wie es von Lange benannt wurde; dasselbe ist ein sehr zartes, vergängliches Gebilde, welches stark lichtbrechend ist. Bei der Conservirung mit Sublimat und Sublimat-Essigsäure war es verhältnissmässig gut erhalten; das genaue Studium war aber durch die Thatsache erschwert, dass es sich nur schwach färbt. Es sitzt dem das Pigment enthaltenden Zellleib mit scharfer Begrenzung auf und enthält kein Pigment. Nach Cuénot und Lang sitzt jeder Sehzelle eine helle Cuticularplatte auf, die Deckplatte. Sie sehen die Retinazellen nur als pigmentirte Stützzellen an, welche wie alle andern Stützzellen nach ihren Befunden ein Cuticularplättchen abscheiden würden. Diese Untersuchungen setzen aber den Befund voraus, dass die Augengruben offen sind und die Cuticula sich in dieselbe einsenkt, was ich bei keiner Art finden konnte.

Die Form dieser Stäbchen ist die eines Cylinders, der in der Mitte etwas eingeschnürt ist. Oft findet man, dass die ins Innere der Augengrube hinein ragenden Stäbchen, mit ihren distalen Enden sich an einander legen, was auch wohl im frischen Zustand der Fall sein wird, denn bei der Conservirung treten an solchen Gebilden immer Schrumpfungen ein. Auf letztern Vorgang werden wohl auch jene Verhältnisse zurückzuführen sein, welche mir bei der Betrachtung der Präparate oft entgegentraten. Oft schien es nämlich, als ob der obere Theil des Stäbchens sich in 4—5 Theile gespalten hätte, auf jedem Ausläufer sass dann ein kleines Knöpfchen. Wenn man weiter noch bedenkt, dass bei der Conservirung die gallertige Masse, welche das Innere der Augengrube erfüllt, gerinnt und sich dabei hauptsächlich auf den ins Lumen vorspringenden Stäbchen niederschlägt, so werde ich nicht fehl gehen, derartige Veränderungen an den Stäbchen, wie sie Fig. 8 zeigt, als Kunstproduct zu erklären.

In jeder Sehzelle steigt ein Bündel dicht an einander liegender feiner Fäserchen auf, die man an Querschnitten durch die Zelle, nach

Conservirung mit Flemming'scher Lösung deutlich erkennt (Fig. 19). Diese Fäserchen treten in die Stäbchen ein und strahlen dort pinselförmig aus einander, von der Grundsubstanz des Stäbchens umgeben. Es kann wohl kein Zweifel sein, dass wir es hier mit Neurofibrillen im Sinne Apáthy's zu thun haben, die in dem Stäbchen endigen und die eigentlichen Licht recipirenden Elemente der Sehzelle sind, wahrscheinlich treten sie auf der andern Seite in die Nervenfaser ein, in welche die Sehzelle sich auszieht. Dergleichen Neurofibrillen sind schon früher in Retinazellen gefunden worden, so von Greeff bei Alciopiden, von zahlreichen Autoren bei *Pecten*, von Grenacher bei Cephalopoden und neuerdings von Hesse bei Anneliden. Lehrreich ist ein Vergleich der Retina des Gastropodenauges mit der der Asteriden.

Dort finden sich Stäbchenzellen, deren jede von 4—8 Pigmentzellen umgeben ist. Diese letzteren scheiden eine cuticulare Hülle, den sogenannten Stäbchenmantel, aus. Das vordere spitze Ende einer Stäbchenzelle wird von dem Stäbchenmantel umhüllt. Hilger giebt eine Abbildung, welche einen Schnitt durch eine Reihe solcher Stäbchenzellen darstellt in der Höhe des Stäbchenmantels. Ein Querschnitt durch ein Stäbchen des Seesternauges entspricht dem Querschnitt durch eine Stäbchenzelle und den umgebenden Pigmentzellen dazu. Die Sonderung in Pigment- und Stäbchenzellen ist eben bei der Retina des Seesternauges nicht durchgeführt, so dass hier die Retinazellen die Function der Ausscheidung einer Hülle sowohl, als auch die Function der Stäbchenzelle übernehmen müssen, nämlich das Fortleiten des durch das Licht bedingten Reizes. Man muss das Verhältniss, wie es sich bei den Sehzellen der Asteriden darbietet, als das primitivere bezeichnen, da hier noch keine Arbeitstheilung eingetreten ist.

Wie oben erwähnt, finden sich in der Literatur nur Beschreibungen von Augenpolstern, in denen Augengruben eingebettet sind, und zwar solche ohne Linsen. Im Laufe meiner Untersuchungen fand ich, dass die Licht empfindenden Organe der Seesterne nach drei verschiedenen Typen gebaut sind, welche aber durch Mittelglieder verbunden sind.

Die erste Gruppe zeigt eine diffuse Vertheilung der Sehzellen über das ganze Augenpolster.

In der zweiten Gruppe sind die Sehzellen auf einzelne Stellen, die Augengruben concentrirt; den Uebergang von der ersten zur zweiten Gruppe bildet *Luidia ciliaris*.

Die dritte Gruppe endlich besitzt wie die zweite Augengruben; als weiteres Moment kommt hinzu, dass sich an der Innen-

seite der Cuticula, welche die Augengrube nach aussen abschliesst, noch eine Linse entwickelt hat.

In Rücksicht darauf, dass nur Verhältnisse beschrieben sind, wie sie die zweite Gruppe — mit Augengruben — zeigt, will ich an diese meine Betrachtungen anknüpfen, dann zur dritten Gruppe — Augengruben mit Linse — übergehen und hierauf die erste Gruppe — keine getrennten Augengruben — anschliessen.

Augenpolster mit einer grösseren Anzahl getrennt stehender Augengruben. Zweite und dritte Gruppe.

Bei Betrachtung des Augenpolsters mit Lupenvergrösserung kann man die einzelnen, stark pigmentirten Augenflecke leicht an ihrer rothen Färbung wahrnehmen; das dazwischen liegende Stützgewebe hat die Farbe des Radialnerven.

Die Zahl der Augengruben oder Einzelaugen, die einem Augenpolster zugehören, schwankt je nach den Arten und dem Alter der Thiere zwischen weiten Grenzen. Das gilt auch für die dritte Gruppe, welche überhaupt alle Eigenschaften der zweiten Gruppe besitzt, nur dass noch eine Linse hinzutritt.

Zur Orientirung über die Zahl der Augengruben, die in einem Augenpolster sitzen, mögen folgende Zahlen dienen: *Asterias glacialis* besitzt 150—180 Augengruben, *Astropecten aurantiacus* 120, bei einem jungen Exemplar dieser Art zählte ich nur ungefähr 50, bei *Asterina gibbosa* deren etwa 120.

Wilson giebt Abbildungen, nach denen die Augengruben sehr regelmässig in bestimmten Linien angeordnet sind, auch Mettenheimer schreibt, dass die Pigmentflecke in parallelen Reihen gestellt sind, die sich unter schiefem Winkel von der Mittellinie abzweigen; weiter schildert er aber auch, dass bei manchen Individuen eine solche Anordnung nicht erkennbar ist.

Fig. 1 zeigt das Augenpolster von *Asterias glacialis*. In der Mitte desselben verläuft eine schmale Zone, die frei ist von Augengruben. Diejenigen, welche links und rechts von derselben liegen, sind nicht sehr tief. Seitlich oben sind die tiefsten, während die Augengruben seitlich unten nicht so weit ins Augenpolster eingedrungen sind.

Die Wand der Augengrube wird gebildet durch die Retinazellen, welche hier dicht an einander stossen. An dem tiefsten Theil der Augengrube stehen auf demselben Raum viel mehr Retinazellen als an den andern Stellen der Wand der Augengrube, wie Fig. 9 zeigt. Hamann beschreibt Stützzellen und Epithelsinneszellen, welche an die Wand der

Augengrube herantreten. Es war mir jedoch nicht möglich, beide Formen sicher zu constatiren.

Die Oeffnung der Augengrube, deren Spitze nach innen gerichtet ist, wird von der Cuticula überspannt, nie fand ich ein Gebilde, wie es Cuénot und Lang abbilden, so dass die Augengrube offen wäre. Wie wird dieser Theil der Cuticula an der Oeffnung der Augengrube gebildet? Die Stützzellen, welche dicht neben der Augengrube, von der Bindegewebsschicht zur Cuticula emporsteigen, biegen plötzlich, nachdem sie dieselbe erreicht haben, senkrecht ab und legen sich der Cuticula dicht an, wie es in Fig. 7 und 8 abgebildet ist. Eine Anzahl solcher abgebogener Enden von Stützzellen liegen dann wie Radien eines Kreises unter der Cuticula, welche die Augengrube verschliesst. Diese Enden der Stützzellen haben bei den Augengruben ohne Linse sehr wenig Protoplasma um sich, in der dritten Gruppe, wo eine Linse vorhanden ist, übernehmen sie sowohl die Function der Bildung der Cuticula als auch die der Linse. Wie oben erwähnt wurde, verbreitern sich die Stützzellen an ihrem distalen Ende, treten zusammen und bilden dabei eine feine Linie, welche die innere Begrenzung der Cuticula darstellt. Betrachtet man einen Längsschnitt durch eine einzelne Augengrube, so erhält man den Eindruck, als ob sich diese Linie an dem Rande der Augengrube in 2 Linien spalten würde; der eine Theil zieht als innere Begrenzung der Cuticula mit derselben über die Oeffnung der Augengrube weg, während sich der andere Theil als sogenannte Membrana limitans in die Augengrube einsenkt. Diese Membrana limitans stellt die Grenze des Zellleibes der Retinazelle und ihres zugehörigen Stäbchens dar. Weil nun die Membrana limitans als Summe der Grenzflächen des pigmentirten Theils der Retinazellen und der zugehörigen Stäbchen anzusehen ist, so kommt man leicht zu der Ansicht, dass die Stäbchen cuticulaartige Gebilde darstellen, welche von den Retinazellen ausgeschieden sind, und die als Schutz dienen für die in ihnen verlaufenden Neurofibrillen. Gegen die Cuticulanatur spricht aber das histologische Aussehen, ferner die Schrumpfungen und die Neurofibrillen in den Stäbchen.

Der Hohlraum der Augengrube ist erfüllt mit einer gallertigen Masse, die bei Druck nach aussen hervorquillt und von Haeckel als kuglige Linse beschrieben wurde. Diese Masse ist von mehr oder minder wässeriger Consistenz bei den einzelnen Arten, was sich leicht an Schnitten von conservirtem Material erkennen lässt, da die gallertige Substanz hier geronnen ist; man findet denn auch im Innern der Augengruben an Schnitten feine Gerinnsel, gewöhnlich aber wenig. Mit dem

Namen Glaskörper möchte ich den Inhalt einer Augengrube nicht bezeichnen, am einfachsten giebt man ihm den Namen Emplem, wie Grenacher ähnliche Gebilde bei den Gastropoden bezeichnet. Secretzellen neben den Sinneszellen habe ich nicht gefunden. Die Stäbchen ragen in diese Füllmasse hinein, wobei sie so angeordnet sind, dass sie auf der Membrana limitans senkrecht stehen. Aus der letzten Regel geht hervor, dass z. B. im tiefsten Punkt der Augengrube das Stäbchen senkrecht zur Cuticula steht.

Die Formen, welche der zweiten Gruppe angehören, also getrennte Augengruben besitzen, sind unter dem vorgelegenen Material die folgenden:

1) *Astropecten aurantiacus.* Diese Form zeichnet sich aus durch die Dicke der Cuticula (3,5 μ). Die Augengruben sind nicht sehr tief.

2) *Astropecten bispinosus.* Die Augengruben durchsetzen $^2/_3$ der Dicke des Augenpolsters.

3) *Astrogonium granulare.* Geringe Tiefe der Augengruben.

4) *Astropsis pulvillus.* Wenig Füllmasse und tiefe Gruben (Fig. 7).

5) *Palmipes membranaceus.* Die Einzelaugen stehen ziemlich dicht.

6) *Solaster papposus.*

7) *Pteraster militaris.*

Die dritte Gruppe unterscheidet sich von der eben geschilderten nur dadurch, dass innerhalb der Cuticula, welche die Oeffnung der Augengrube überspannt, noch ein lichtbrechendes Gebilde auftritt, welches linsenförmige Gestalt hat. Ich glaube, dass man diesem Gebilde den Namen Linse geben darf, da auch dieses die Function einer Linse erfüllt, die Lichtstrahlen so zu brechen, dass auf der Retina ein Bild eines Gegenstandes entstehen kann.

Während, wie schon erwähnt, bei den Augengruben ohne Linse die abgebogenen Enden der Stützzellen, welche den Verschluss der Augengrube durch Bildung der Cuticula übernehmen, sehr wenig Protoplasma um sich haben, wird dasselbe in der dritten Gruppe, wo eine Linse vorhanden ist, vermehrt. Die Dicke der Linsen ist abhängig von der Menge des Protoplasmas, welches die einzelnen Stützzellen an ihrem abgebogenen Ende umgiebt. Fig. 10 giebt über diese Verhältnisse Aufschluss.

Ueber jeder Augengrube wölbt sich bei den Arten mit stärker entwickelter Linse die Cuticula etwas über die Oberfläche des Augenpolsters empor.

Von den Arten, welche mir zur Verfügung standen, gehörten folgende der dritten Gruppe zu:

1) *Echinaster sepositus* 1 : 7
2) *Asterina gibbosa* 1 : 6,5
3) *Asteracanthion rubens* [1]) 1 : 6
4) *Asterias mülleri* 1 : 5
5) *Asterias glacialis* 1 : 5
6) *Asterias tenuispina* 1 : 3,3.

Die Verhältnisszahlen geben die Werthe der Dicke des lichtbrechenden Körpers in der Richtung der optischen Axe zu der Breite desselben an, wobei zu bemerken ist, dass der erstern die Dicke der Cuticula zugerechnet ist.

Erste Gruppe: Diffuse Vertheilung der Sehzellen über das Augenpolster.

In der ersten Gruppe, welche jetzt behandelt werden soll, ist die Retina nicht in einzelne scharf getrennte Abschnitte, die Augengruben, zerfallen, sondern die Sehzellen sind gleichmässig über das Augenpolster vertheilt.

Die beiden Arten, welche dieser Gruppe angehören, sind *Astropecten pentacanthus* und *Astropecten mülleri*, während *Luidia ciliaris* eine Brücke zur oben beschriebenen zweiten Gruppe bildet. Betrachtet man das Augenpolster eines Gliedes dieser Gruppe bei Lupenvergrösserung, so fällt dem Beobachter sofort auf, dass zwischen den einzelnen Flecken das Gewebe gleichfalls gefärbt, dass also das ganze Augenpolster pigmentirt ist (vgl. Fig. 4). Quer- und Längsschnitte geben Aufschluss über die Anordnung der Retinazellen. Bei der Untersuchung eines Querschnitts — einen Theil desselben zeigt Fig. 4 — wird man sofort 2 Schichten unterscheiden können, eine äussere, voll von Kernen, weshalb ich sie Kernschicht nennen will, und eine innere, welche deren fast keine enthält. Letztere wird aber von Fasern durchsetzt, welche auf der Bindegewebsschicht inseriren; in ihnen erkennt man die oben beschriebenen Stützzellen. Ferner erscheinen in der innern Schicht die Durchschnitte der Nervenfasern; es ist dies also die Nervenfaserschicht. Die Kerne, welche man in der Kernschicht findet, gehören einmal den Stützzellen zu, und zwar liegen deren Kerne ziemlich hoch, oft nisten sie sich in den Theil der Zelle ein, der sich direct unter der Cuticula verbreitert hat. Solche Vorkommnisse, welche auch bei andern Arten nicht selten sind, gaben wahrscheinlich Veranlassung, dem Augenpolster ein Plattenepithel zuzuschreiben. Die andern rundlichen Kerne, welche in der Kernschicht liegen, gehören den Retinazellen zu. Diese liegen den Stützzellen

1) Fig. 16 zeigt einen Schnitt durch eine Augengrube dieser Art, wo sich durch Bildung von 2 Aussackungen die Retina vergrössert hat.

parallel, lassen sich aber leicht von denselben unterscheiden, da ihr Protoplasma sich viel weniger färbt als der stabförmige Theil der Stützzellen, und weil sie nicht von der Cuticula bis zur Bindegewebsschicht reichen, denn sie stossen weder an die eine, noch an die andere. Diese Retinazellen sind von lang gezogener, cylindrischer Gestalt und besitzen an ihrem proximalen Theil einen Kern, der jedoch etwas grösser ist als der Querdurchmesser der Zelle, weshalb diese hier etwas aufgetrieben ist. Die grosse Menge der Zellen bringt es nun mit sich, dass die Kerne nicht dicht neben einander Raum haben, sondern sich gegenseitig nach oben und unten ausweichen, womit auch die Dicke der Kernschicht erklärt ist.

Jede Retinazelle setzt sich in eine feinste Faser fort, welche sich in der Nervenschicht verliert.

Die Retinazellen liegen ziemlich dicht neben einander und sind in grösserer Zahl vorhanden als die sie flankirenden Stützzellen.

Schon bei schwächerer Vergrösserung bemerkt man zwischen Kernschicht und Cuticula einen hellen Raum, welcher bei genauer Betrachtung nach innen zu begrenzt wird durch eine feine Linie, die parallel der Cuticula im Abstand von 8,5 μ verläuft; es ist die Membrana limitans. Ueber die Membrana limitans erhebt sich auf jeder Retinazelle ein cylindrisches Gebilde, in welchem man das Stäbchen erkennt, es hat eine Länge von 5 μ. Die Licht empfindenden Zellen breiten sich also bei dieser Gruppe gleichmässig über das ganze Augenpolster aus; worin auch die oben erwähnte Art der Pigmentirung desselben seinen Grund hat. Auf Querschnitten kann man öfters kleine Abweichungen von dieser Regel beobachten. Die Membrana limitans biegt sich in diesen Fällen leicht einwärts, wodurch eine Gruppirung der Retinazellen zu Stande kommt, indem sich dieselben nach dem Mittelpunkt der Senkung zu neigen (Fig. 5). In dieser Gruppe finden sich demnach schon Andeutungen für eine Concentration der Retinazellen auf gewisse Stellen, was natürlich für die Schärfe der Wahrnehmung von Bedeutung ist.

Die beiden, der ersten Gruppe angehörigen Arten unterscheiden sich einmal durch die Form des Augenpolsters. Bei *Astropecten pentacanthus* ist dasselbe halbkugelförmig, bei *Astropecten mülleri* dagegen viel höher gewölbt. Bei der letztern Art sind die Einsenkungen der Membrana limitans seltener als bei der erstern, auch stehen dort die Retinazellen weniger dicht als bei *Astropecten pentacanthus.*

Erwähnt sei noch, dass bei *Astropecten mülleri* sich im Radial-

nerven eine grosse Zahl von Ganglienzellen fand, mehr als bei irgend einer andern der untersuchten Arten.

Das Charakteristische dieser ersten Gruppe ist, wie aus der Beschreibung hervorgeht, die diffuse Vertheilung der Retinazellen auf dem Augenpolster.

Luidia ciliaris bildet das Bindeglied zwischen dieser ersten Gruppe und den beiden andern Gruppen mit getrennten Augengruben. Man kann bei dieser Art die verschiedensten Stadien von Einsenkungen der Membrana limitans beobachten.

Fig. 6 zeigt eine Strecke eines Querschnitts durch das Augenpolster einer solchen Seesternart, und zwar muss betont werden, dass es sich nicht um seitliche Schnitte von Augengruben handelt. Bei *a* findet sich das primitive Verhältniss, wie es in der ersten Gruppe gefunden wird, dass die Membrana limitans parallel der Cuticula verläuft. An den Stellen *b* und *c* senkt sich die Membrana limitans mit den Retinazellen immer weiter ein, bis bei *e* die Einstülpung eine solche Tiefe erreicht hat, wie sie bei den folgenden Gruppen gewöhnlich ist. Solche tiefe Einsenkungen wie bei *e* in der Abbildung sind jedoch bei *Luidia* nicht gewöhnlich. Vielmehr bietet sich beim Anblick eines Querschnitts folgendes Bild dar: die ganze Oberfläche ist mit kleinen Kreisen und Halbkreisen bedeckt, um welche die Stützzellen herumbiegen, also mit Gebilden wie bei *d* in Fig. 6.

Die Stützzellen tragen ihre Kerne vorzugsweise in dem obersten Theil, so dass dieselben oft den Halbkreisen dicht anliegen.

Die einzelnen Complexe von Retinazellen, welche durch die Einsenkungen der Membrana limitans bedingt werden, sind von einander isolirt, indem sich ein Packet von Stützzellen zwischen den Einsenkungen hindurchdrängt, oberhalb derselben sich wieder verbreitert und zur Bildung der Cuticula verwendet wird.

Bei *Luidia ciliaris* kann man beobachten, wie die Sehzellen sich mehr und mehr auf bestimmte Bezirke concentriren. So bildet diese Art den Uebergang zu der zweiten Gruppe, wo die Trennung der Retina in einzelne Complexe ganz durchgeführt ist.

Auf die Pigmentverhältnisse will ich an dieser Stelle eingehen. Wie schon bemerkt wurde, enthalten die Retinazellen Pigment. Dieses Pigment wird von Alkohol ausgezogen, weshalb bei Schnitten, die nach einer Methode erhalten worden sind, welche eine Behandlung mit Alkohol voraussetzt, diese Pigmentzellen ganz durchsichtig erscheinen, was ja im Allgemeinen nur angenehm sein kann.

Auf den Rath von Herrn Prof. Dr. Blochmann hin conservirte ich die Augenpolster von *Asterias glacialis* mit starker Flemming-scher Lösung; das Pigment wurde dabei osmirt, so dass ich in Paraffin einbetten konnte und Schnitte erhielt, in denen das Pigment sehr schön erhalten war (Fig. 9). Ein langer Aufenthalt in starkem Alkohol bringt aber auch das osmirte Fett zur Lösung.

Wie im Alkohol, so löst sich das Pigment in Aether. Glycerin dagegen lässt dasselbe unverändert. Bei meinen Präparaten von Augenpolstern, welche in Glycerin eingeschlossen waren, zeigte sich nach 4 Monaten noch keine Verblassung des Pigments, dagegen waren die kleinen Pigmenttröpfchen zu grossen zusammengeflossen, wobei sich dieselben dann wie kleine Oelkugeln ausnahmen. Schwache Schwefel- und Salpetersäure, sowie concentrirte Salz- und Essigsäure verändern das Pigment nicht. Concentrirte Schwefelsäure lässt dasselbe zuerst hellblau, nach einiger Zeit aber dunkelblau mit etwas grün werden. Concentrirte Salpetersäure bedingt eine Grünfärbung, Kali hat keinen Einfluss auf die Farbe des Pigments.

Diese Reactionen zeigen, dass das Pigment in die Reihe der sogenannten Fettfarbstoffe oder Lipochrome zu rechnen ist, welche sowohl im Thier- als auch im Pflanzenreich eine grosse Verbreitung besitzen. Es sind dies Farbstoffe, die von Fett leicht aufgenommen werden; allgemein färben sie sich bei Zusatz von concentrirter Schwefel- und Salpetersäure blaugrün bis tief indigoblau. Zu ihnen gehört auch das Pigment der Augenflecke bei Flagellaten, sowie die farbigen Tropfen in den Zapfen des Wirbelthierauges. Das Pigment besitzt im Allgemeinen eine rothe Farbe. Die Nuancen derselben stehen in gewisser Beziehung zur Entwicklung des Sehorgans. Das Pigment zeigte sich bei

Astropecten pentacanthus rothgelb,
Palmipes membranaceus hellroth,
Echinaster sepositus dunkelroth,
Asterias glacialis purpurroth mit einem Stich ins Violette.

Die Intensität der Farbe des Pigments ist wahrscheinlich von Wichtigkeit in Beziehung auf die Absorption des Lichts.

Es erhebt sich nun die Frage: mit welchem Recht kann man die besprochene Anschwellung des Radialnerven als Sehorgan bezeichnen?

Dafür spricht einmal die Thatsache, dass überall Sehorgane vorliegen, wo Neuroepithelien mit Stäbchen im Zusammenhang mit Pigmentanhäufungen vorkommen.

Wohl liegen in den meisten Fällen die Verhältnisse so, dass die

eigentlichen Sehzellen, welche Stäbchen an ihrer Spitze tragen, isolirt sind, d. h. sie sind von besonderen Pigmentzellen umgeben, welche die Aufgabe haben, die optische Isolation der Stäbchen zu besorgen.

Im Gegensatz zu dieser Art von Sehorganen, wo das Pigment besondern Pigmentzellen angehört, enthalten die Retinazellen der Asteriden, wie sich aus der vorangehenden Schilderung ergiebt, Pigment und Stäbchen zugleich; diese Art von Retinazellen wurde mit dem Namen autochrome belegt, im Gegensatz zu den exochromen.

Das Verhältniss, wie es sich bei den Asteriden findet, ist wohl das ursprüngliche. Dass es sich um Seh- resp. Lichtempfindungsorgane handelt, ergiebt sich aus einem Versuch, den ich in Rovigno mit *Asterina gibbosa* anstellte.

Die Anordnung war folgendermaassen: Ein niederes Glas wurde mit Wasser gefüllt, nachdem es aussen mit schwarzem Papier so verklebt war, dass kein Licht eindringen konnte. Die beiden Deckel wurden gleichfalls je zur Hälfte zugeklebt. Durch Auflegen derselben auf das Gefäss und durch Verschieben der Deckel konnte erreicht werden, dass in dasselbe gar kein Licht mehr einfiel, oder dass es zur Hälfte beleuchtet war.

Ein unverletztes Exemplar von *Asterina gibbosa* wurde in das ganz verdunkelte Gefäss gebracht.

Die eine Hälfte des Glases wurde plötzlich durch Verschieben der Deckel dem directen Sonnenlicht ausgesetzt. Der Seestern bewegte sich nun immer, wenn er in der Nähe der Grenzlinie von Licht und Dunkel sich befand, in directer Linie aufs Dunkle zu, wo er verschwand. Die Entfernung vom Dunkeln durfte aber nicht mehr als ca. 5 cm betragen, sonst wurden die Bewegungen unsicher. Schnitt man diesem Seestern die Spitzen der Arme ab, oder exstirpirte man das Augenpolster, so reagirte er nie in ähnlicher Weise, er bewegte sich in irgend einer Richtung weiter.

Aus diesem Versuch geht hervor, dass *Asterina gibbosa* Dunkel im Gegensatz zu Hell wahrnimmt, dass ihre Augen photoskopisch sind, was ja die niederste Stufe des Sehens ist.

Ob diese Sehorgane noch Weiteres zu leisten vermögen, muss Erwägungen überlassen bleiben, welche sich auf die anatomischen Befunde gründen, was im Folgenden ausgeführt werden soll.

In der ersten Gruppe sind die Retinazellen ziemlich gleichmässig über das ganze Augenpolster vertheilt. Das Licht, welches aus einer bestimmten Richtung kommt, wird hauptsächlich die Retinazellen,

welche auf dem Augenpolster dieser Seite zugekehrt liegen, treffen. Die Retinazellen aber, welche auf dem andern Theil desselben liegen, werden schwächer gereizt werden, ein leichter Reiz wird jedoch fast immer auch auf sie ausgeübt werden. Die schwachen Einsenkungen, die vorhanden sind, werden an diesem Resultat wenig ändern.

In der ersten Gruppe, also bei *Astropecten mülleri* und *Astropecten pentacanthus*, hat daher das Sehorgan wohl in erster Linie die Aufgabe der Unterscheidung der Lichtintensitäten. In geringerm Maasse werden diese Seesterne auch noch die Richtung des Lichts erkennen können.

In der zweiten und dritten Gruppe, wo eine Trennung der Retina in einzelne Complexe ganz durchgeführt ist, wird das Licht aus einer gewissen Richtung einzelne Augengruben ganz erhellen, während in andere an der entgegengesetzten Seite des Augenpolsters kein Lichtstrahl einfallen kann. In diesen beiden Gruppen dient das Sehorgan sowohl zur Unterscheidung verschiedener Lichtintensitäten als auch zum Erkennen der Lichtrichtung.

In der dritten Gruppe, wo jede Augengrube eine Linse besitzt, kann es zum Erkennen von undeutlichen Bildern kommen, da die Linse die Lichtstrahlen auf bestimmte Stellen der Retina zu bricht. Die Wahrnehmung von Bewegungen wird allen drei Gruppen in grösserm oder geringerm Maasse zukommen.

Die Augengruben, wie sie sich in der zweiten und dritten Gruppe finden, sind gebaut nach dem Princip der Camera obscura.

Aehnliche Sehorgane, wie sie sich bei den Asteriden der ersten Gruppe, also mit diffus über das Augenpolster vertheilten Sehzellen finden, kann man auch bei Cölenteraten, z. B. bei *Aurelia aurita* und *Oceania*, beobachten. Bei den angegebenen und noch einer Reihe von andern Hydromedusen tritt das Sehorgan als kleiner Pigmentfleck im Epithel auf und wird aus fadenförmigen Sinneszellen gebildet, deren jede von pigmentirten Epithelzellen umgeben ist. Dieser Pigmentfleck ist nicht scharf umgrenzt, sondern geht allmählich in das umgebende Epithel über, wie dies ja bei den zu dieser Gruppe gehörigen beiden Asteridenarten auch der Fall ist.

An die beiden andern Gruppen der Sehorgane der Asteriden erinnern der Form und dem histologischen Bau nach eine Anzahl von Lichtempfindungsorganen aus verschiedenen Abtheilungen des Thierreichs.

Zuerst möge aus dem Stamm der Cölenteraten die einfache Form des Sehorgans erwähnt werden, welches von *Lizzia köllikeri*

hauptsächlich untersucht worden und welches auch noch andern Arten zukommt.

Das Epithel, welches sich zum Sehorgan umgebildet hat, liegt am Grunde eines Tentakels und besitzt im Wesentlichen dieselben Elemente wie das oben angeführte von *Aurelia aurita*, nur tritt noch eine Linse hinzu, welche eine Verdickung der Cuticula darstellt, also denselben Ursprung besitzt wie die Linse der Augengruben bei den Asteriden.

Weiter gehören hieher die kleinen Augen ohne Linse von *Charybdea marsupialis*, welche paarig neben den Linsenaugen liegen. Sie stellen hohle Einstülpungen des Epithels dar, unterscheiden sich also von den Augengruben der Asteriden dadurch, dass die Cuticula nicht über diese Einstülpungen wegzieht, dass sie also offen sind, und ferner dadurch, dass die Sinneszellen von besonderen Pigmentzellen umgeben sind.

Die Augen vieler Würmer bieten gleichfalls eine Reihe von werthvollen Vergleichungspunkten.

In der äussern Form, wie in der histologischen Beschaffenheit gleicht das Auge von *Nereis cultrifera* den Sehorganen, wie sie sich in der zweiten Gruppe — Augengruben ohne Linse — finden.

Ein Auge von *Nereis cultrifera* stellt eine rings geschlossene Blase ohne Linse dar. Diese Blase ist entstanden zu denken als eine Einstülpung von der Epidermis aus, wobei aber doch die Cuticula über das Epithel der Verschlusstelle geschlossen wegzieht, was aus dem Umstand hervorgeht, dass die Epithelzellen, welche rings um das Auge zur Cuticula emporsteigen, lang, schlank und sehr hoch werden und gegen den Mittelpunkt der Einstülpung zu convergiren.

Die Sehzellen von *Nereis cultrifera* tragen an ihrem distalen Ende ein Stäbchen, an dem proximalen laufen sie in eine feine Nervenfaser aus, ferner sind sie stark pigmentirt. Neben diesen finden sich noch Secretzellen, welche die Substanz des das Auge erfüllenden lichtbrechenden Körpers liefern.

Aus diesem geht die Aehnlichkeit des Baues, wie auch der Bildungsweise dieser beiden Sehorgane hervor. Die Augen dieser Raubanneliden und verwandter Arten stimmen am meisten mit denen der Asteriden überein, andere Formen, wie die Alciopiden, bieten wegen ihrer höhern Entwicklung weniger Anhaltspunkte. Die Sehorgane der Gastropoden zeigen gegenüber denen der Asteriden, wie oben ausgeführt worden ist, den Fundamentalunterschied, dass das Pigment in besondern Pigmentzellen enthalten ist.

Wichtig für die Vergleichung ist das Stemma der Arthropoden,

welches mit den am höchsten entwickelten Sehorganen der Asteriden in Beziehung gebracht werden muss. Zuerst sei hingewiesen auf das Stemma der Larven, von denen das von *Dytiscus* das bekannteste ist. Die Sehzellen besitzen hier an ihrem vordern Ende ein Stäbchen, an dem hintern laufen sie in eine Nervenfaser aus, das Pigment ist in ihnen enthalten, und eine Linse legt sich vor die Oeffnung des Auges. Die Zellen, welche der Linse zu gelegen sind, bleiben aber in ihrem vordern Theil pigmentfrei, legen sich mit diesem ihrem durchsichtigen Ende an einander und bilden so eine Art Glaskörper. Das Stemma der erwachsenen Arthropoden zeichnet sich mit Ausnahme einiger weniger dadurch aus, dass der Glaskörper durch eine besondere Zellenschicht gebildet wird, dass also diese Augen zweischichtig sind. Allen kommt eine sehr stark entwickelte Cuticularlinse zu. Bei den Seitenaugen der Scorpione kommt noch das hinzu, dass die Stäbchen nicht wie bei allen andern an der Spitze ausgeschieden werden, sondern an der Seite, wodurch Rhabdomere gebildet werden, ein Verhältniss, das sich bei den zusammengesetzten Augen der Arthropoden findet.

Watase vergleicht das Augenpolster von *Asterias glacialis* mit dem zusammengesetzten Auge der Arthropoden. Er spricht von einem Ommatidium und einer Retinula in Beziehung auf eine Augengrube. Von einem Ommatidium kann man aber wohl nicht reden, denn erstens sind die Augengruben, wie das ganze Epithel bei den Asteriden einschichtig, es fehlen die Glaskörperzellen, welche im Facettenauge den Krystallkegel liefern, zweitens ist keine Retinulabildung vorhanden. Die Retinulazellen im Facettenauge sind immer nur in geringer und bestimmter Zahl nachzuweisen, sie scheiden ihre Stäbchen an der Seite aus unter Bildung eines Rhabdomers, während bei den Asteriden den Sehzellen die Stäbchen an ihrem distalen Ende aufsitzen, und drittens sind im Facettenauge besondere Pigmentzellen vorhanden, wenn gleich die Retinazellen oft selbst stark pigmentirt sind.

Den Sehorganen der Asteriden ist demnach ihr Platz anzuweisen unter den einfacheren Lichtempfindungsorganen, welche die Thierreihe uns vor Augen führt.

In Rovigno stellte ich Versuche an betreffs der Regeneration des Augenpolsters. Nachdem ich dasselbe exstirpirt hatte, conservirte ich die Armspitzen der so behandelten Exemplare von *Astropecten bispinosus* und *Echinaster sepositus* nach Verfluss von 3 Wochen. Die Schnitte ergaben, dass die Augengruben fast die normale Tiefe bei unverletzten Exemplaren erreicht hatten.

Zur weitern Untersuchung benutzte ich Regenerate von *Astropecten aurantiacus*. Bei demjenigen Augenpolster, das in der Entwicklung noch am weitesten zurück war, konnte ich nur ungefähr 8 sehr leichte Einsenkungen erkennen. Fig. 15 zeigt die tiefste derselben, diese durchsetzt nur $^1/_6$ der Dicke des Augenpolsters, während die normalen Augengruben über die Hälfte derselben herabsteigen. Die andern Einsenkungen erinnerten ganz an die Vorkommnisse bei den beiden Arten der ersten Gruppe. Bei den andern Regeneraten konnte ich, je nachdem ihre Entwicklung fortgeschritten war, Augengruben bis zur gewöhnlichen Tiefe beobachten.

Die Bildung von Sinnesorganen durch Concentrirung der percipirenden Elemente zeigt sich bei den verschiedenen Gruppen der Seesterne. Bei der Regeneration des Augenpolsters eines Gliedes der höhern Gruppen legen sich die Augengruben als flache Gebilde an, welche sich erst nach und nach vertiefen.

Ebenso ist es bei der Neubildung von Augengruben, welche auch beim erwachsenen Thier noch vor sich geht. Auch hier kann man tiefe neben Augengruben von geringer Tiefe treffen.

Die verschiedenen Entwicklungsstadien beim Regenerationsprocess und bei der Neubildung von Augengruben haben Aehnlichkeit mit der Entwicklung des Sehorgans bei den einzelnen Gruppen.

Zum Schluss untersuchte ich die Ocellarplatten eines Echiniden. Auf denselben finden sich bekanntlich Pigmentanhäufungen und es wurde schon behauptet, dass dieselben als Rückbildungen der Augen der Seesterne aufzufassen seien, besonders da an jener Stelle ein Fühler auftritt, der Vieles mit dem der Seesterne gemein hat. Verhältnisse, wie sie sich in der zweiten und dritten Gruppe finden, sind nicht vorhanden, ich konnte aber auch keine ähnlichen Sehzellen nachweisen, wie sie in der ersten Gruppe vorkommen. Bei einer Ophiure, von der ich das Endstück eines Arms mit dem Fühler untersuchte, konnte ich auch keine Sehzellen auffinden.

Literaturverzeichniss.

Cuénot, L., Contribution à l'étude anatomique des Astérides, in: Arch. Zool. exp. génér., (2) V. 5 bis, 1888, 2. Mém., p. 144.

Ehrenberg, C. G., Vorläufige Mittheilungen einiger bisher unbekannter Structurverhältnisse bei Acalephen und Echinodermen, in: Arch. Anat. Physiol., 1834, p. 577—580.

Greeff, Rich., Ueber den Bau der Echinodermen, 1. Mitth., in: SB. Ges. Bef. ges. Naturw. Marburg, 1871, p. 53—62.

—, Ueber den Bau der Echinodermen, 2. Mitth., ibid. 1872, p. 93—102.

Haeckel, E., Ueber die Augen und Nerven der Seesterne, in: Z. wiss. Zool., V. 10, 1860, p. 183—190.

Hamann, Otto, Beiträge zur Histologie der Echinodermen, ibid. V. 39, 1883, p. 145—190.

—, Beiträge zur Histologie der Echinodermen. Heft 2. Die Asteriden anatomisch und histologisch untersucht, Jena 1885, 8°.

Hilger, Beiträge zur Kenntniss des Gastropodenauges, in: Morph. Jahrb., V. 10, 1884.

Jourdain, S., Sur les yeux de l'Asteracanthion rubens, in: CR. Acad. Sc. Paris, V. 60, 1865, p. 103—105.

Lang, A., Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Thiere, Jena 1894.

Ludwig, H., Beiträge zur Anatomie der Asteriden, in: Z. wiss. Zool., V. 29, 1877, p. 99—162.

—, in: Bronn, Class. Ordn. Thierreichs, V. 2, Abth. 3, p. 546—556.

Mettenheimer, C., Ueber die Gesichtsorgane des violetten Seesterns der Ostsee, in: Arch. Anat. Physiol., 1862, p. 210—225.

Müller, O. F., Zoologiae danicae Icones, Fasc. I, Havniae 1778, Fasc. II, Havniae 1780.

Prouhu, H., Du sens de l'odorat chez les étoiles de mer, in: CR. Acad. Sc. Paris, V. 110, 1890, p. 1343—1346.

Teuscher, R., Beiträge zur Anatomie der Echinodermen, in: Jena. Z. Naturw., V. 10, 1876, p. 493—516.

Vogt u. Yung, Lehrb. der prakt. vergl. Anatomie, Braunschweig 1888.

Volkmann, Ueber das Gefässsystem der Meersterne, in: Oken, Isis, 1837, p. 513 u. 514.

Watase, S., in: Stud. biol. Lab. Johns Hopkins Univ., V. 4, 1890, p. 324—326. (Auge der Echinodermen.)

Wilson, H., The nervous system of the Asteridae, with observations on the structure of the organs of sense and remarks on the reproduction of lost rays, in: Trans. Linn. Soc. London, V. 23, 1860, p. 107—123.

Erklärung der Abbildungen.

Allgemeine Bezeichnungen.

au Augengrube
aup Augenpolster
bg Bindegewebe
bm Basalmembran
cut Cuticula
fl Fühler
k Kerne der Stützzellen
l Linse
n Nervenfasern im Radialnerv
ml Membrana limitans
p Pigment
st Sehstäbchen
stz Stützzellen
sz Retinazellen (Sehzellen)
szk Kerne der Retinazellen

Fig. 1. Augenpolster von *Asterias glacialis.* 60 : 1.

Fig. 2. Einzelne Augengruben von *Asterias glacialis,* frei präparirt. 300 : 1.

Fig. 3. Medianer Längsschnitt durch die Armspitze von *Asterias glacialis.* Augenpolster und Fühler werden von der terminalen Kalkplatte überragt. 60 : 1.

Fig. 4. Stück eines Augenpolsters von *Astropecten mülleri,* quer geschnitten. 380 : 1.

Fig. 5. Querschnitt durch das Augenpolster von *Astropecten mülleri.* Die gezeichnete Stelle zeigt eine Einsenkung der Membrana limitans. 530 : 1.

Fig. 6. Theil eines Querschnitts durch das Augenpolster von *Luidia ciliaris.* 390 : 1.

Fig. 7. Längsschnitt durch eine Augengrube von *Astropsis pulvillus.* 530 : 1.

Fig. 8. Längsschnitt durch eine Augengrube von *Asterias glacialis.* 530 : 1.

Fig. 9. Längsschnitt durch eine Augengrube von *Asterias glacialis.* Durch die Conservirung in starker Flemming'scher Lösung blieb das Pigment in den Retinazellen erhalten. 400 : 1.

Fig. 10. Schnitt durch die Linse von *Asterias tenuispina.* Bildung der Linse. 390 : 1.

Fig. 11. Schnitt durch die Linse von *Asterina gibbosa.* 530 : 1.

Fig. 12. Tangentialschnitt an das Augenpolster von *Asterias glacialis*. Bildung der Linse. 530 : 1.

Figl 13. *a* Durch Maceration isolirte Retinazellen aus dem Augenpolster von *Asterias glacialis; b* einzelne Pigmentzelle ebendaher. 530 : 1.

Fig. 14. Augenpolster von *Astropecten pentacanthus* in natürlicher Farbe. 60 : 1.

Fig. 15. Längsschnitt durch die tiefste Einsenkung des Augenpolsters eines Regenerats von *Astropecten aurantiacus*. 390 : 1.

Fig. 16. Abnorme Augengrube von *Asteracanthion rubens*. Querschnitt. 390 : 1.

Fig. 17. Längsschnitt durch eine Augengrube von *Asterias tenuispina*. 390 : 1.

Fig. 18. Schnitt durch den Fühler von *Astrogonium granulare*. Verlauf der Nervenfasern und Endigung derselben. Grosse Kerne von (Ganglien?)-Zellen.

Fig. 19. Bei *a* Querschnitt durch eine Reihe von Retinazellen in der Höhe der Membrana limitans, mit den zusammengedrängten Neurofibrillen; bei *b* durch ein Stäbchen, wo die Neurofibrillen pinselförmig aus einander gestrahlt sind. Conservirt in Flemming'scher Lösung. 530 : 1.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena.

Fig 1.
aup
au

Fig.3.
fl
aup
au
bg
n

b.
l

Fig.2a.
l

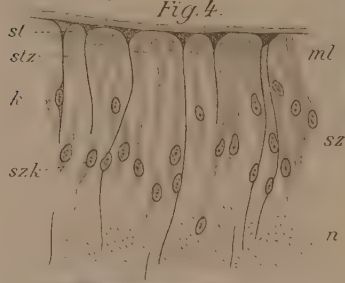


Fig.4.
st
stz
ml
k
sz
szk
n

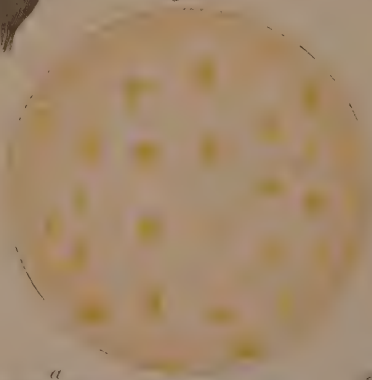
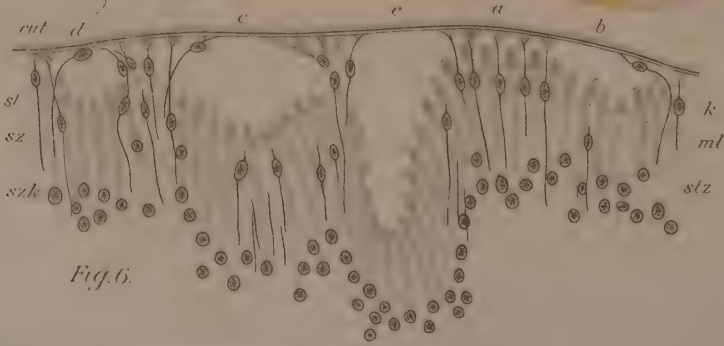
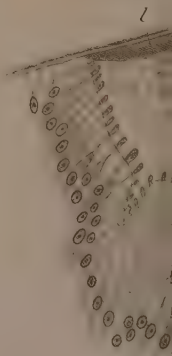


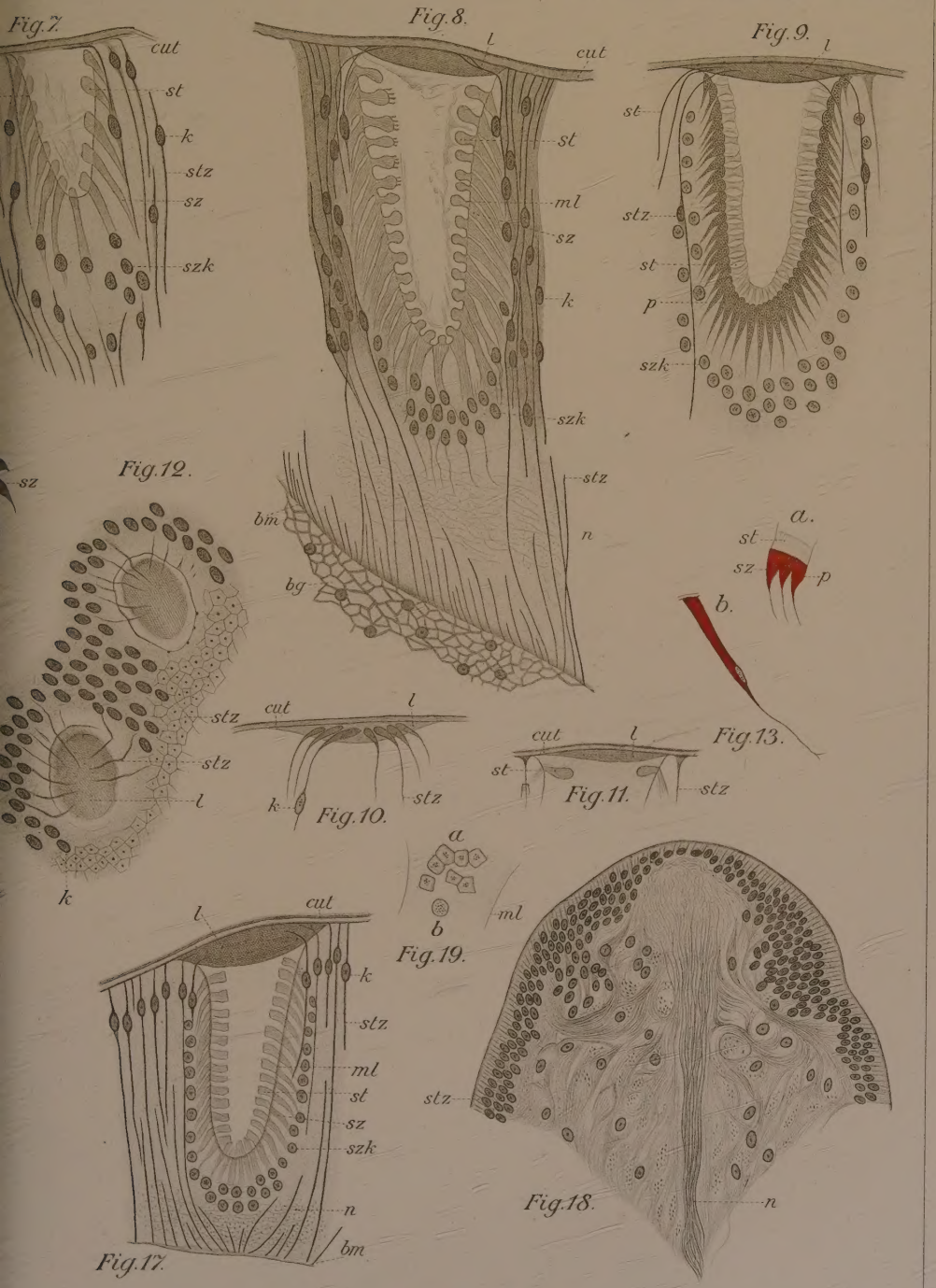
Fig.14.

cut
st
aup

Fig.5.
cut
k
stz
st
sz


cut
d
c
e
a
b
st
sz
szk
k
ml
stz
Fig.6.


l



r in Jena.

Lithographie v. E. Schaal, Jena.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena.